

# Ricerca Enea su celle fotovoltaiche innovative



**ENEA**

Agenzia nazionale per le nuove tecnologie,  
l'energia e lo sviluppo economico sostenibile



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO

**Ricerca di sistema elettrico Accordo di programma MISE-ENEA 2012-2014**

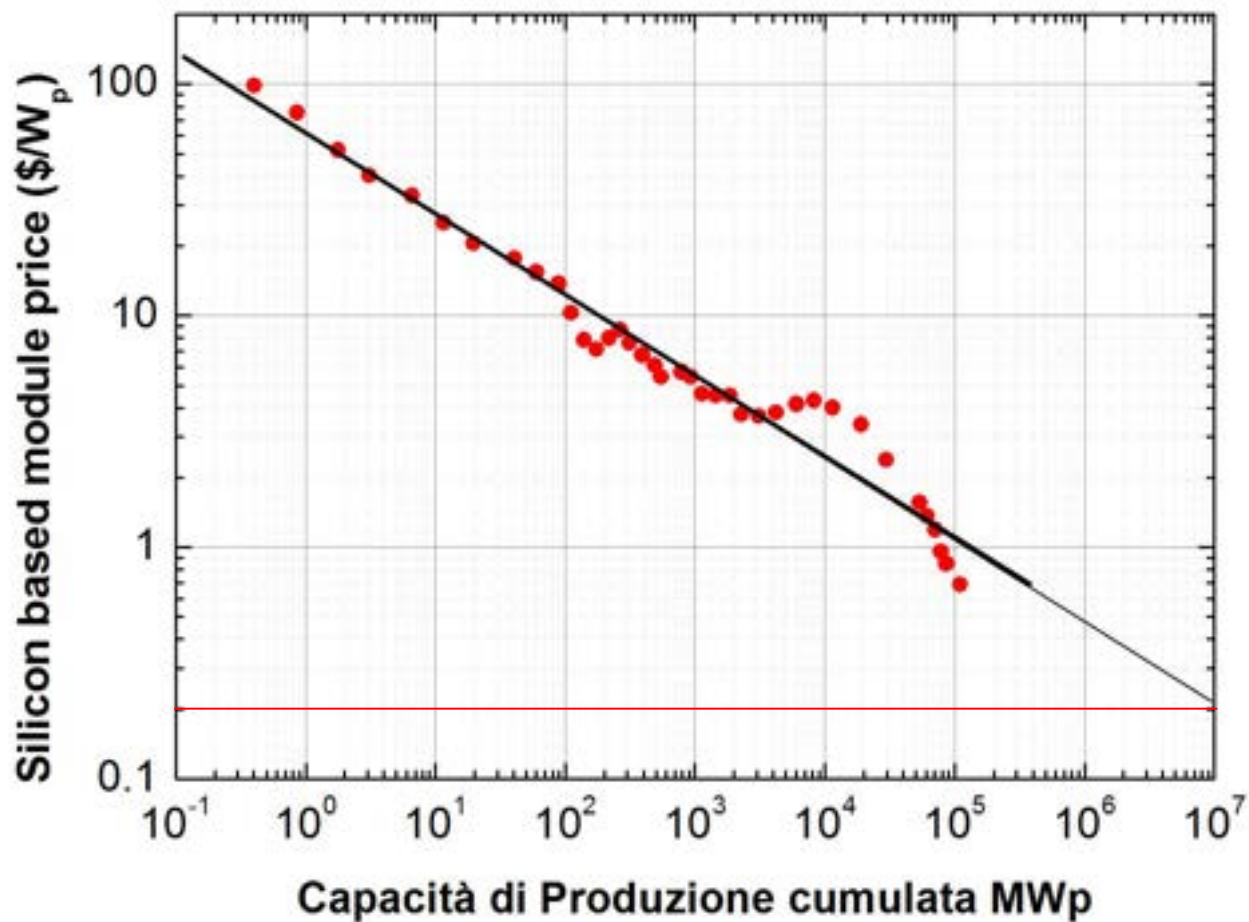
**Energia da fonte solare**

***Eterogiunzione ossido silicio amorfo/ silicio cristallino***

Ricerca di Sistema elettrico



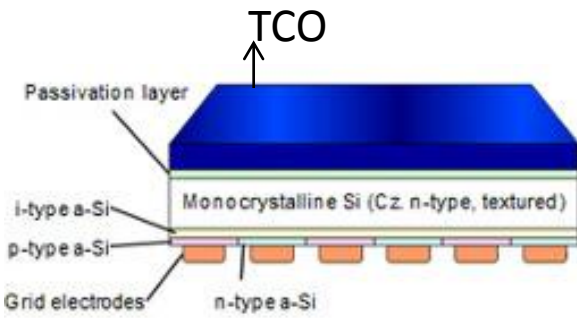
Competitività PV passa attraverso corsa verso la grid parity.



## Perché l'eterogiunzione silicio amorfo / silicio cristallino ?

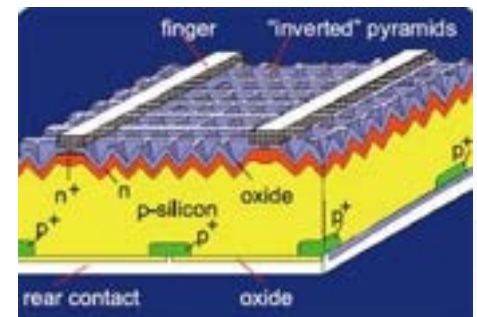
Eterogiunzioni in silicio amorfo/c-Si come via per riduzione dei costi:

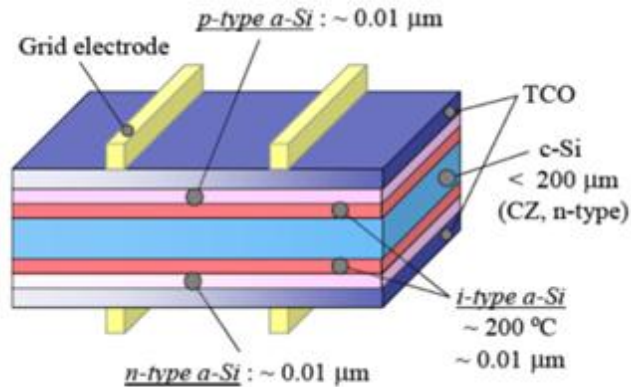
- Basso contenuto energetico per produzione: T di processo < 300°C
- Alta efficienza : HIT Panasonic 25.6% su 143.7 cm<sup>2</sup>. Record mondiale in Si.



HTJ 143.7 cm <sup>2</sup> Panasonic	HomoJ 4 cm <sup>2</sup> UNSW - PERL
V <sub>oc</sub> = 0.740 V	0.706 V
J <sub>sc</sub> = 41.8 mA/cm <sup>2</sup>	42.7 mA/cm <sup>2</sup>
FF = 82.7%	82.8%
Eff. = 25.6%	25%

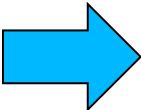
*Confronto celle record diversa tecnologia*

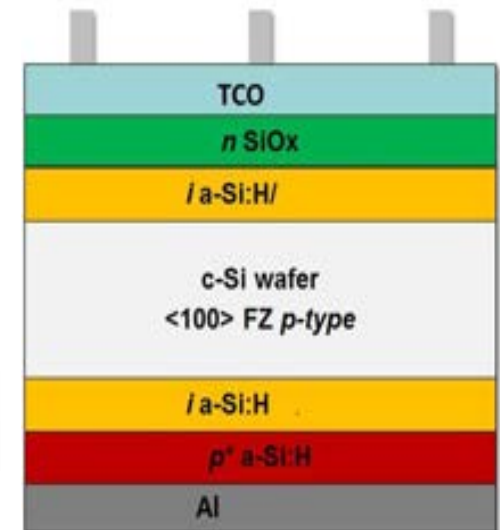




+  $V_{oc}(\text{HTJ}) > V_{oc}(\text{HomoJ})$

-  $J_{sc}$  confrontabili a causa assorbimento dell' emettitore in **a-Si** alle basse  $\lambda$  nelle HTJ.

- 
- Proponiamo nuovo emettitore (n) a base di ossido di silicio amorfo **a-SiO<sub>x</sub>**: più trasparente alle basse  $\lambda$
  - Assorbitore in silicio p : rappresenta il 90% del mercato in c-Si



**Deposizione n-SiOx  
in 13.56MHz PECVD:**

**Gas flows:**

1sccm PH<sub>3</sub> (2% diluito in SiH<sub>4</sub>)

200sccm H<sub>2</sub>

1.5sccm CO<sub>2</sub>

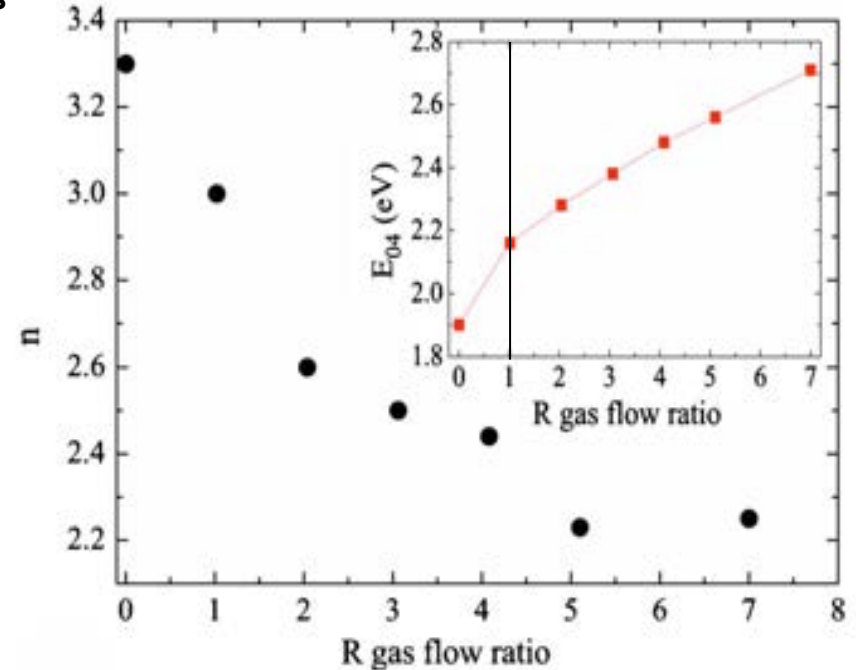
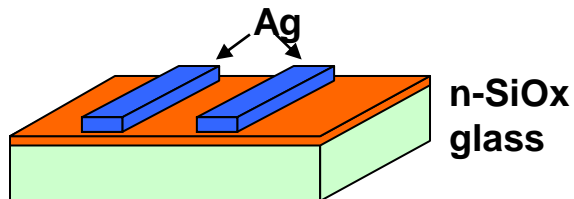
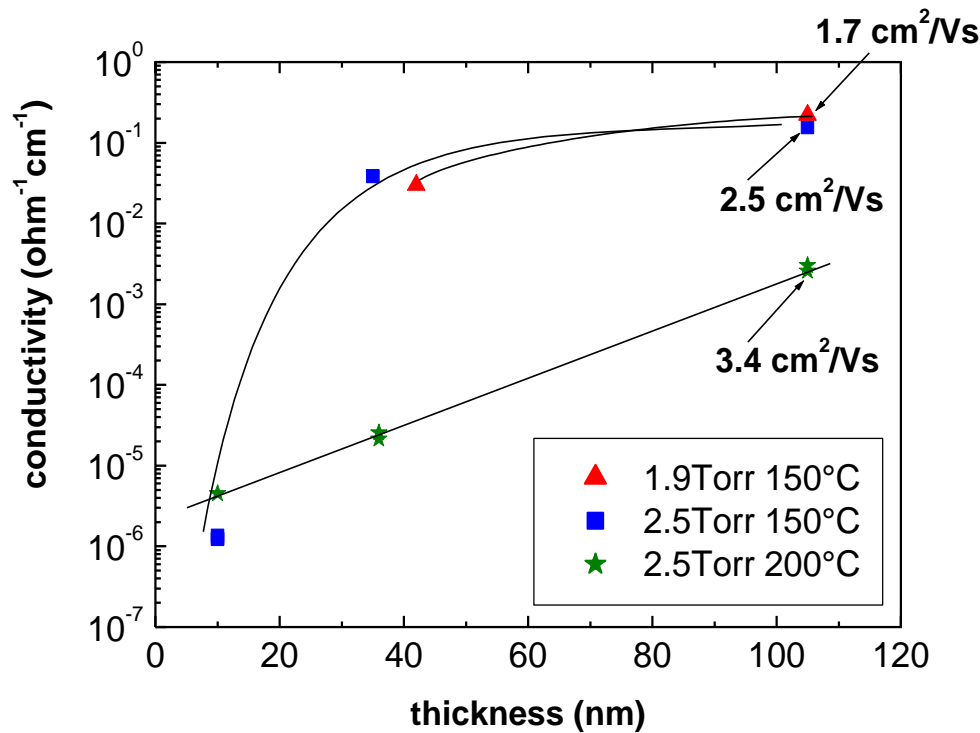
**Pressione lavoro: 1.9-2.5 Torr**

**RF power density: 17.75 mW/cm<sup>2</sup>**

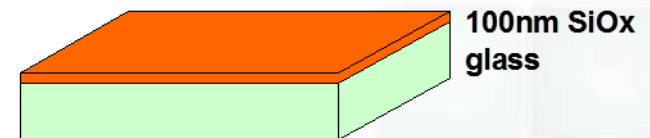
**Temperatura substrato: 150-200 C**

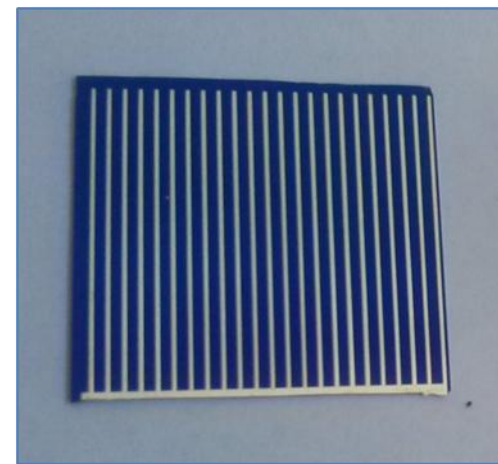
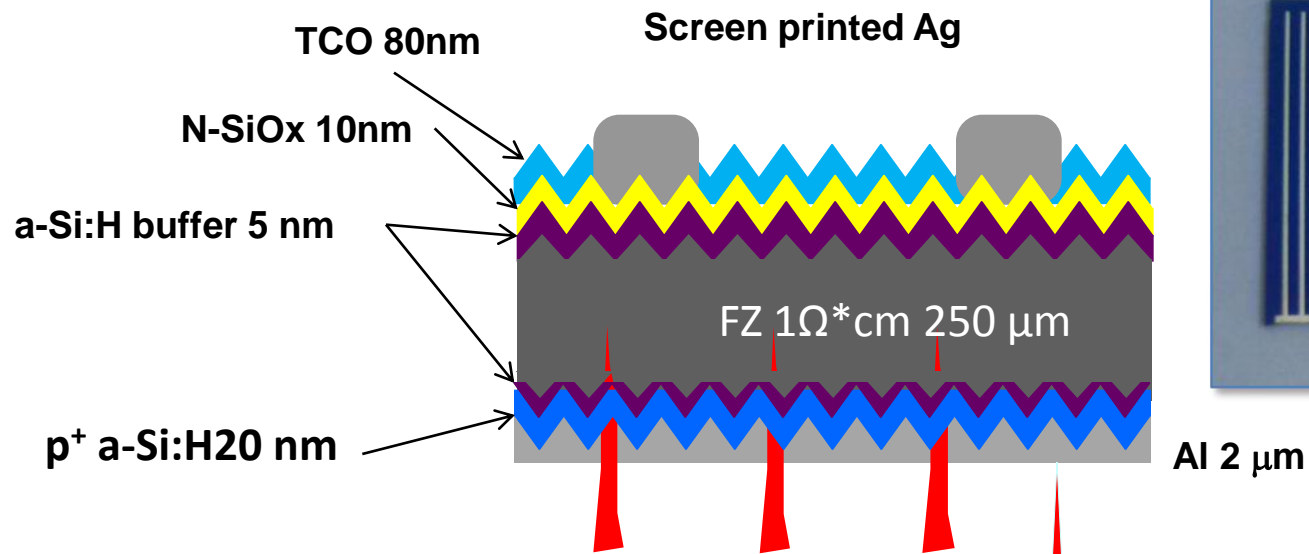
Tutta la struttura **(n)SiOx / (i)a-Si:H/c-Si (p)/(i)a-Si:H/(p)a-Si:H** in PECVD a  $T < 200^{\circ}\text{C}$   
No trattamenti ad alte temperature per formazione giunzioni.

# Proprietà elettro - ottiche n- SiOx



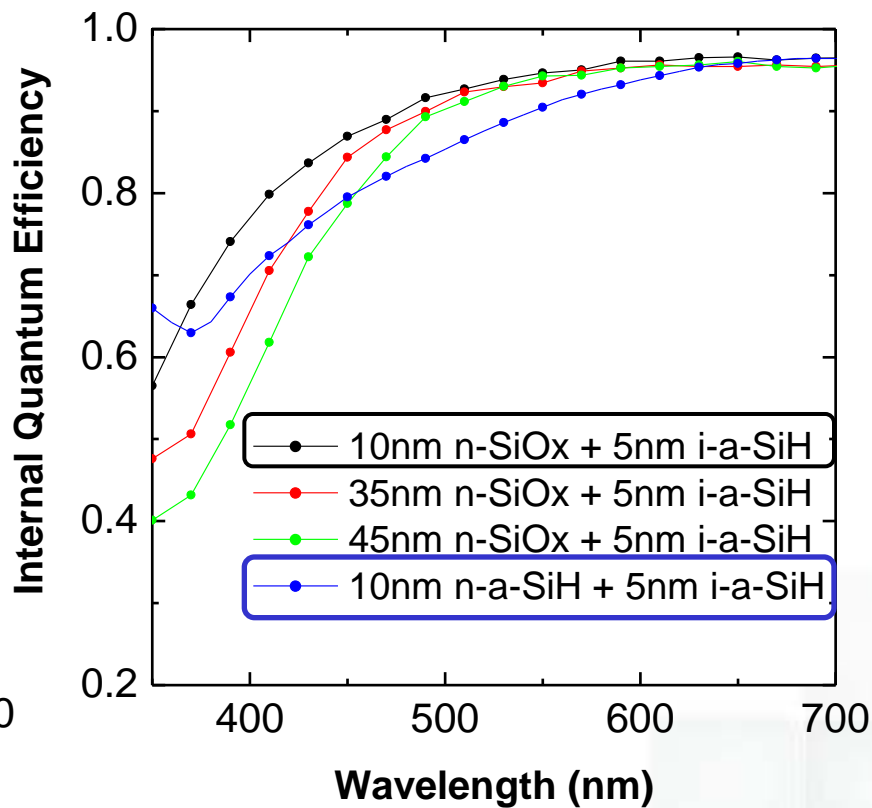
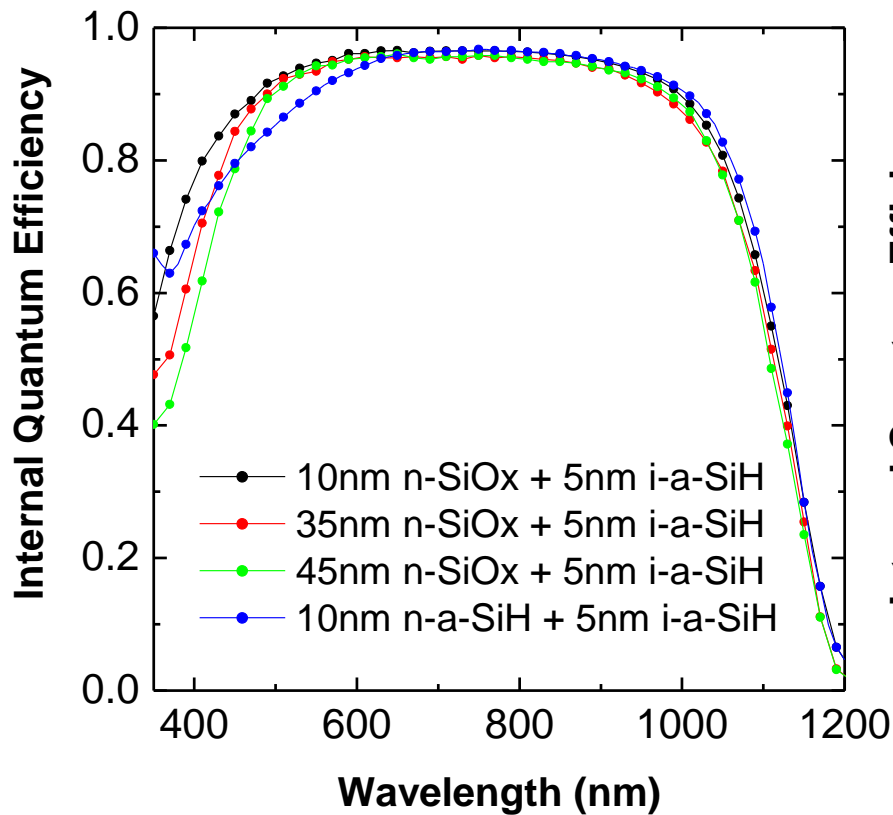
$R=1 \Rightarrow E_{04}$  (limite superiore  $E_g$ ) = 2.2 eV





**Contatto via laser**  
Nd-YAG 1064 nm  
TEM 00 Q-Switched  
320 mW 100 ms 1KHz

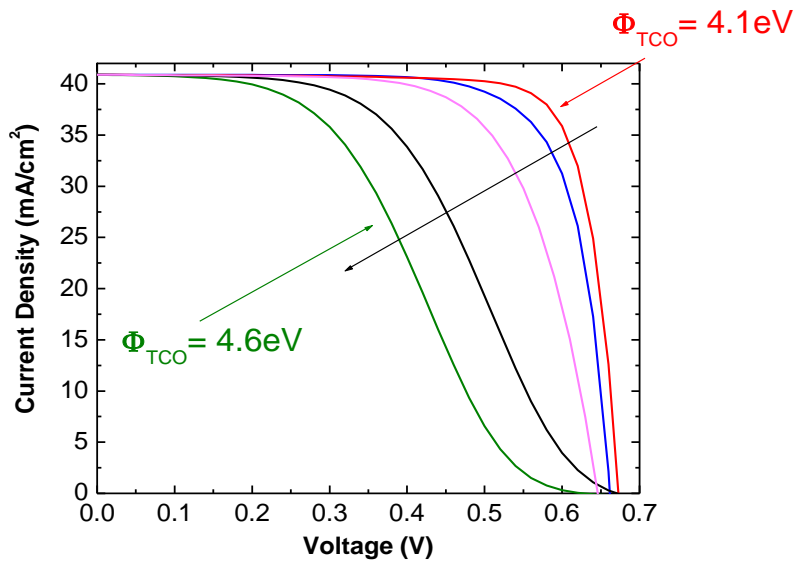
# Confronto emettitori a-Si:H vs a-SiOx



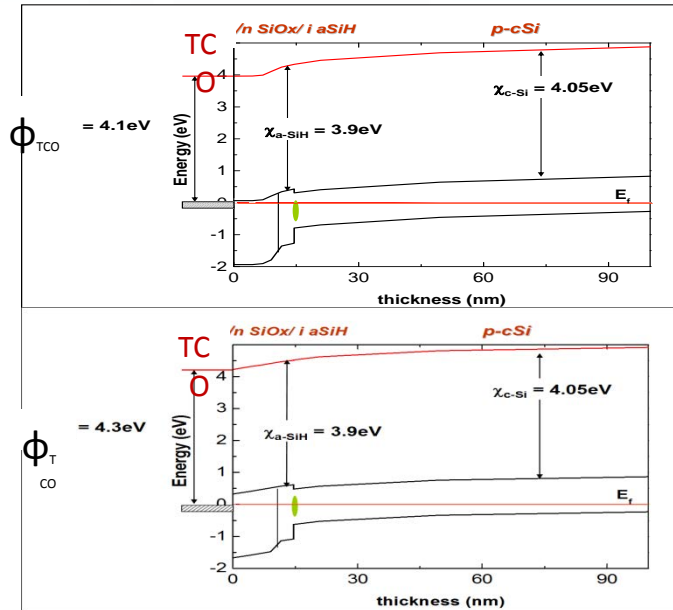
$$\Delta J_{sc} = 0.68 \text{ mA/cm}^2$$

# Eterogiunzione ossido silicio amorfo/ silicio cristallino

## Problematiche legate all'ossido conduttivo trasparente TCO



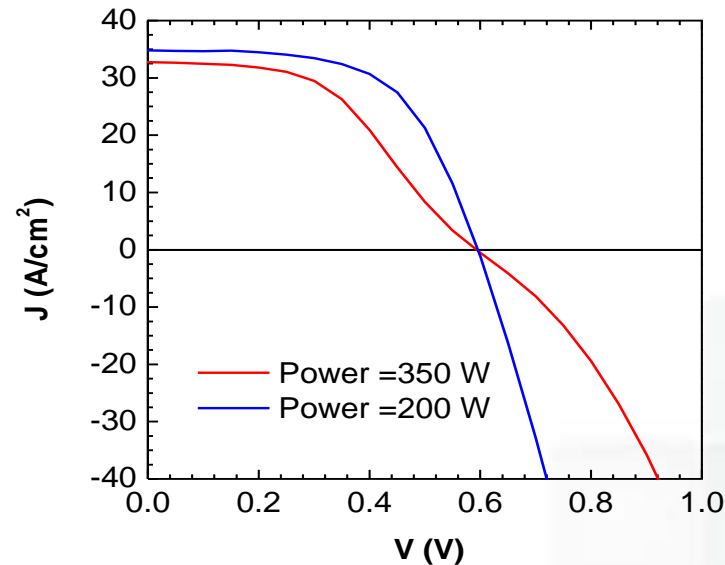
Simulazioni effetto su J-V al variare di  $\phi$  del TCO su TCO/(n)SiOx/(i)a-Si:H/c-Si (p)



Simulazione diagramma a bande parte frontale: alta  $\phi$  svuota l'emettitore

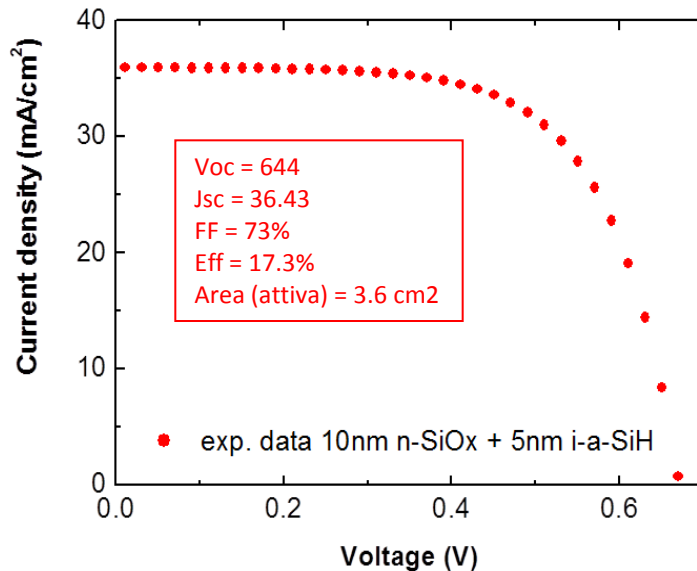
campioni	R sheet Ohm/sq	thickness nm	Pot Watt	# scan	T dep °C	$W_{TCO}$ eV
TCO39	40	80	250	18	220	4.1
TCO90	48	240	300	24	270	4.22
TCO89	140	140	300	16	270	4.26
TCO38	30	80	400	16	220	4.3
TCO32	18	190	500	20	270	4.49

Misure sperimentali C-V per la determinazione valore Funzione lavoro  $\phi$  del TCO



J-V misurate a diverse Funzioni lavoro

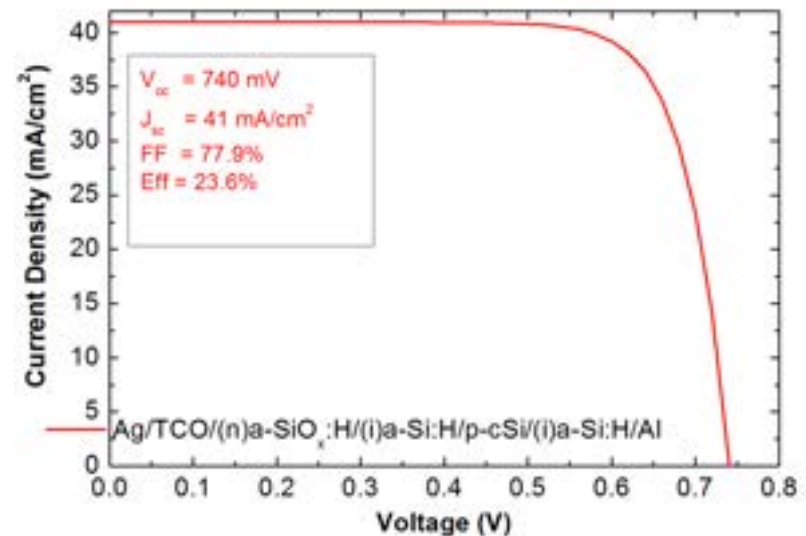
Dove siamo.



Curva J-V sperimentale.

La resistenza serie del TCO e la non idealità del contatto laser posteriore e la non ottimale testurizzazione inficiano  $J_{sc}$ , passivazione superficiale e  $V_{oc}$ .

Dove arrivare.



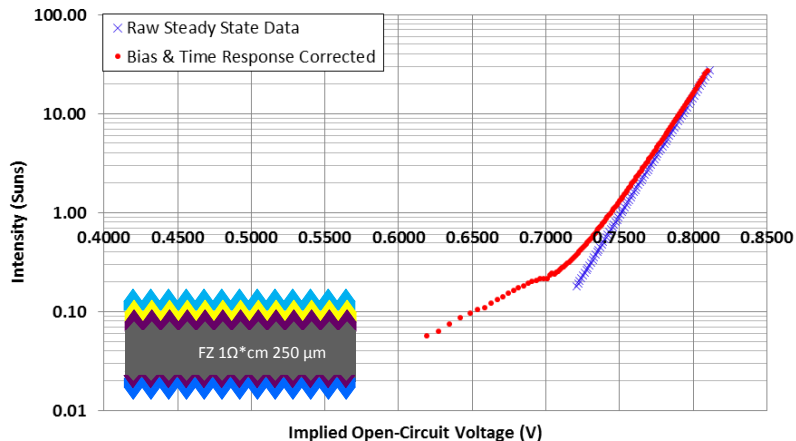
Curva J-V da simulazione DIFFIN

Assunzioni: Alta conduttività del TCO e riduzione della densità dei difetti interfaccia a-Si:H/c-Si.

Valori elettro-ottici n SiOx (  $E_g$ ,  $E_a$ ,  $n$ ,  $k$ ....) da dati sperimentali

Sviluppi ed obiettivi : celle ad oltre il 20% per prodotti top sul mercato

Implied Voc



Implied Voc 750mV misurata su struttura in figura

Cella	Eff (%)	FF (%)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (mV)	A cm <sup>2</sup>	Rs (Ωcm <sup>2</sup> )	Rsh (Ωcm <sup>2</sup> )
CL5	15.4	73.0	32.8	644	4	1.4	1400
CL6	7.5	35.5	29.6	714	4	38	1400
CL7	11.9	57.7	31.0	666	4	9.7	4900
CL9	13.2	72.8	29.3	621	4	1.8	8300
CL10	15.2	<b>78.5</b>	31.5	615	4	1.1	13000
CL11	13.7	75.7	29.6	610	4	2.1	4200
CL12	11.8	65.2	30.2	599	4	4.5	1700
CL16	9.4	53.0	28.9	613	4	8.9	13000
CL33	15.7	62.5	<b>36.6</b>	<b>687</b>	4		

Tabella J-V celle più significative

- Ottimizzazioni TCO e griglia frontale per minimizzare Rs
- Ottimizzazione del processo di testurizzazione per massimizzare Jsc
- Ottimizzazione del processo di pulizia chimica della superficie testurizzata per migliorare effetto passivazione e Voc